

## **Anwendung von limnologischen Funktionen und Modellen bei Untersuchungen am Bodensee und Erfahrungen mit der EDV**

G.WAGNER

Mit dem Vordringen der EDV in alle Bereiche konnten neue statistische Verfahren eingeführt und Modelle entwickelt werden. Es wurde auch "vor Ort" möglich, mit ihrer Hilfe den Ursachen für die Veränderung limnologischer Untersuchungsparameter nachzugehen, den Erfolg von Maßnahmen zu kontrollieren oder zu prognostizieren. Aus den Beispielen, die auf diese Weise entstanden sind und die sich dann im Laufe der Sanierungsanstrengungen am Bodensee wiederholt bewährt haben, seien hier ein Phosphorbilanzmodell (WAGNER 1976a, WAGNER & WOHLAND 1976), ein Modell für die Einschichtungstiefe von Zuflußwasser im See (WAGNER & WAGNER 1978) und eine Modellfunktion zur Beurteilung von Stofffrachten in Fließgewässern (IGKB 1976) herausgegriffen. Die Verfahren sollen hier nicht noch einmal detailliert beschrieben werden, sondern hervorgehoben sei ihr Einsatz bei der Beurteilung von Vorgängen am Bodensee und als Entscheidungshilfe bei der Planung von Maßnahmen.

In den vergangenen vier Jahrzehnten befanden sich Seen nur in seltenen Fällen mit der Zufuhr eutrophierender Stoffe im Gleichgewicht. Besonders während der stark steigenden Belastung mit gelösten Phosphorverbindungen war ein ständiger zeitlicher Rückstand des Stoffumsatzes hinter einem Gleichgewichtszustand zu beobachten. Eine Beurteilung der Auswirkungen von Eingriffen in die Stoffzufuhr ist aber

nur bei Kenntnis der Gleichgewichtsverhältnisse auf verschiedenen Belastungsniveaus möglich. Mit Hilfe des Phosphorbilanzmodells ließen sich erstmals Fließgleichgewichtszustände für den Bodensee-Obersee zwischen der Zufuhr von Phosphorverbindungen, den Konzentrationsverhältnissen im See, den Sedimentationsraten und dem Phosphorabfluß berechnen. Das Gleichungssystem wird dabei iterativ an den Wechsel der Konzentrationsverhältnisse im See und an die Abflußfrachten über einen langen Zeitraum angepaßt. Die Iterationskoeffizienten befinden sich in den Termen für Raten des Transports aus dem Epilimnion und aus dem Hypolimnion. Eingabedaten sind die langjährigen monatlichen Phosphorzufuhren (nach konstanten und abflußabhängigen Frachten getrennt) und die Durchflußmengen durch den See unter Berücksichtigung einer größeren Trinkwasserüberleitung. Seit Mitte der Siebzigerjahre ist die Belastung des Bodensees mit Phosphorverbindungen aus seinem Einzugsgebiet rückläufig und die Frage war, wie weit die Sanierungsanstrengungen noch getrieben werden müßten, um wieder einen limnologisch tragbaren Zustand des Sees zu erreichen. Die Ergebnisse aus den Berechnungen der Gleichgewichtskonzentrationen bei langfristig gleichbleibenden Phosphorzufuhren (Abb. 1) mit Hilfe des Bilanzmodells konnten hier Hinweise geben und sind so in die Überlegungen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee einbezogen worden (IGKB 1982b).

Bei Fragen des Wasseraustauschs im Bodensee, der Sauerstoffnachlieferung in das Hypolimnion auch während der Stagnationsperiode sowie der Erwärmung des Hypolimnions von März bis September bestanden Unklarheiten über das Einschichtungsverhalten des Zuflußwassers im Jahresverlauf. Bis zur Einbeziehung auch der Schwebstoffe wurden entsprechenden Kalkulationen lediglich Salzgehalt und Temperatur zugrunde gelegt.

Noch im oben erwähnten Phosphorbilanzmodell wurde die Einmischung von Zuflußwasser als allein ins Epilimnion geschehend angenommen und Direkteinträge von Phosphor in Seetiefe wurden von den Ausdrücken für die Transportraten ausgeglichen. Wohl gab es zahlreiche Beobachtungen und Nachweise über den Verlauf des Alpenrheins im See während gezielter Untersuchungskampagnen, doch das Verhalten wichtiger anderer Zuflüsse wie Bregenzerache, Argen, Alter Rhein oder Schussen konnte erst nach Kenntnis ihrer Schwebstoffführung bei unterschiedlichen Abflüssen geklärt werden. Unter Berücksichtigung des Jahrestemperaturverlaufes der einzelnen Seezuflüsse (WAGNER & STIELER, 1978), ihres Salzgehaltes (MÜLLER, 1965, WAGNER & WAGNER, 1978) und ihres Schwebstoffgehaltes (WAGNER, 1976b) während unterschiedlicher Abflüsse wird mit dem Einschichtungsmodell die mittlere tägliche Dichte des Wassers aus jedem einzelnen der untersuchten Zuflüsse zum Bodensee geschätzt. Sie wird mit der Dichteschichtung im See verglichen und der Flußwasserkörper wird der entsprechenden Seetiefe zugewiesen. Die Einzelergebnisse werden in der Regel zu monatlichen Budgets zusammengefaßt. Eingabedaten sind die täglichen Abflüsse jedes einzelnen Zuflusses mit Angabe des Tages im Jahr. Eingesetzt wurde das Modell außer bei Fragen der Nachlieferung und der Verteilung von Pflanzennährstoffen im See (WAGNER, 1980) auch bei der Beurteilung der Auswirkungen von Staus in Seezuflüssen und der damit verbundenen Änderungen im Einschichtungsverhalten von Flußwasser wegen Beeinflussung des Temperaturverlaufs und der Schwebstoffkonzentration (Abb. 2). Bei der Beurteilung der Ergebnisse sind noch zusätzliche Informationen über Zeiten mit Temperaturerhöhung und solchen mit Temperaturerniedrigungen als Folgen des Eingriffes gegenüber dem ursprünglichen Verhalten des betrachteten Zuflusses zu berücksichtigen.

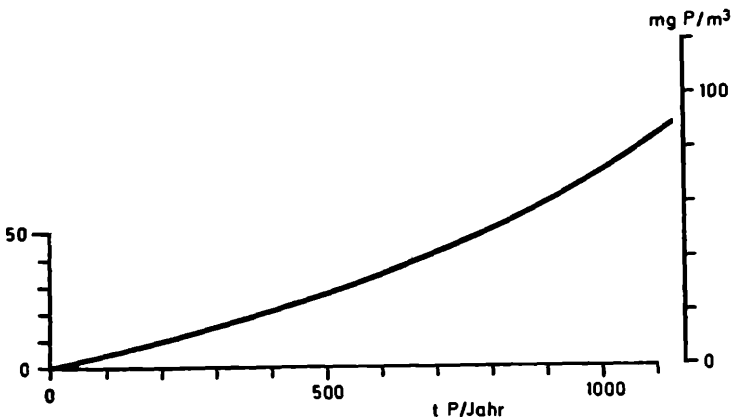
Bei der Beurteilung der Stofffrachten aus zahlreichen Zuflüssen zu einem See ist es häufig nicht ohne aufwendige Untersuchungen in den Einzugsgebieten möglich, diese Frachten nach ihrer Herkunft aufzuschlüsseln, um Maßnahmen zu ihrer Verringerung vorschlagen zu können. Um mit Messungen im Mündungsgebiet der Lösung dieser Frage näherzukommen, wurde eine mathematische Funktion für die Beziehung zwischen Abflußmenge und Konzentration des gelösten Stoffes gesucht und gefunden, die den Konzentrationsgang im Abflußbereich wiedergibt und sich als "Eichkurve" für die Ableitung täglicher mittlerer Konzentrationen (und nach Multiplikation dieser Konzentrationen mit dem zugehörigen Abfluß auch der täglichen Frachten) bei den entsprechenden Abflüssen eignet und mit deren Hilfe sich außerdem konstante, abflußunabhängige Frachten von abflußabhängigen Frachten unterscheiden lassen. Die Funktion wird je Fluß und Komponente durch Iteration von Koeffizienten an die Meßdaten angepaßt. Sie besteht aus je einem Summanden für den Verdünnungsgang der konstanten Frachten und für die Änderung der Konzentration abflußabhängiger Frachten. Weil konstante Frachten aus Abwasser und Grundwasser, abflußabhängige Frachten aber hauptsächlich aus ländlichen Arealen, Entlastungen von Kanalisationssystemen und den Niederschlägen selbst stammen, können die Möglichkeiten für die Herkunft der Stoffe eingengt werden. Verbesserungen in der Formulierung der Funktion und in der aufwendigen Berechnung der jetzt drei in ihr enthaltenen Iterationskoeffizienten sowie der Ersatz eines dieser Koeffizienten durch eine Konstante sind denkbar und erwünscht. Schwierigkeiten mit der Wichtung der sehr unterschiedlich im Punktfeld verteilten Meßwerte sind behoben, so daß künftig mit der ursprünglichen "Konzentrationsform" der Funktion gerechnet werden kann. Zusammen mit den entsprechenden Funk-

tionen für die Beurteilung der Schwebstofffrachten und -qualität wurde die Modellfunktion am Bodensee u.a. bei der Bilanzierung der Belastung des Sees mit Pflanzennährstoffen (KGKB 1976 und 1982a) sowie bei der Untersuchung von Flußeinzugsgebieten eingesetzt (Abb. 3).

Aus der Sicht der Situation eines wissenschaftlichen Instituts sei noch auf Erfahrungen mit Programmentwicklung und EDV kurz eingegangen. In aller Welt werden mit der Verbreitung kleinerer EDV-Anlagen "vor Ort" diese Arbeiten auch ohne den gezielten Auftrag des Geldgebers durchgeführt, nämlich aus "wissenschaftlicher Neugier" und der Einsicht heraus, Grundlagen für spätere Aussagen schaffen zu sollen. Es zeigt sich, daß, wie die Problembewältigung in anderen Wissenschaftsbereichen, auch Programmierarbeit meist mit erheblichen Opfern von Freizeit verbunden ist. Dies wird in den seltensten Fällen honoriert, wiewohl die Vergabe von umfangreicheren Programmentwicklungen an Dritte einschließlich aller Tests bekanntermaßen außerordentlich teuer ist. Der Wert solcher Arbeiten wird häufig erst offenkundig, wenn deren Ergebnisse dann tatsächlich zu richtigen Entscheidungen beitragen konnten. In diese Sparte fallen auch die drei vorgestellten Beispiele. Von Vorteil erwies sich dabei die genaue Kenntnis der Qualität der Ausgangsdaten und das Erkennen des notwendigen Mindestumfanges des Materials, aber auch von Informationslücken. Diese können "vor Ort" in der Regel relativ rasch geschlossen werden. Hier ist der Bezug zum Problem besonders eng, wobei langjährige Erfahrungen als besonderer Vorteil hinzukommen. Dies alles spricht für eine gewisse Dezentralisierung der EDV in den größeren Organisationseinheiten. Schwierigkeiten entstehen, wenn kein ausgebildetes oder nicht genügend EDV-Personal zur Verfügung steht. Rasch tauchen Fragen nach der Art der

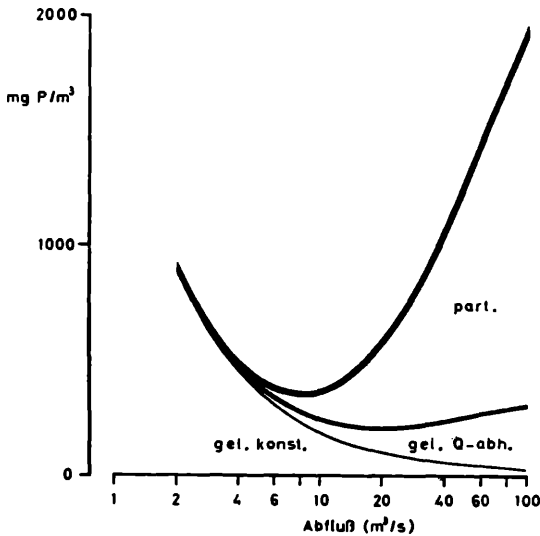
Beschreibung der EDV-Verfahren, nach Archivierung der Daten und der Programme, nach der Möglichkeit des Zugangs durch andere und der Kompatibilität auf. Ohne deren Lösung verlieren sich beim Wechsel der Bearbeiter wertvolle Denksätze in Archiven und zeitraubende Wiederholungsarbeit muß geleistet werden. Bei Modellentwicklungen durch "Outsider" bestehen erfahrungsgemäß Formulierungs- und Lösungsschwierigkeiten, deren Ausräumung zu zeitlichen Verzögerungen führt. Das Bemühen um Kontakte und um Zusammenarbeit mit Spezialisten anderenorts stößt dann oft auf Zeitschwierigkeiten und nicht selten auch auf finanzielle Grenzen.

Abb. 1: Berechnung der mittleren Phosphorkonzentrationen im Bodensee-Obersee für das Ende der Zirkulationsperiode und den Gleichgewichtszustand in Abhängigkeit von der Phosphorzufuhr (ohne Flußschwebstoffe) mit Hilfe eines dynamischen Modells





**Abb. 3:** Das Verhalten der Konzentrationen von Phosphorverbindungen im Bodensee-Zufluß Schussen in Abhängigkeit von der Wasserführung: Gang der gelösten konstanten Frachten (untere Kurve) plus Gang der gelösten abflußabhängigen Frachten (mittlere Kurve für gesamte gelöste Verbindungen) plus Gang der partikulären Verbindungen (obere Kurve für Gesamtposphorkonzentration).





Literatur:

- IGKB, Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (1976): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff- und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72. Ber. 17, Selbstverlag, 55 S.
- IGKB (1982a): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen und organischem Kohlenstoff im Abflußjahr 1978/79. - Ber. 28, Selbstverlag, 68 S.
- IGKB (1982b): Die Auswirkungen der Reinhaltemaßnahmen auf die limnologische Entwicklung des Bodensees (Lagebericht). - Ber. 30, Selbstverlag, 33 S.
- MÜLLER, G. (1965): Ergebnisse einjähriger systematischer Untersuchungen über die Hydrochemie von Alpen- und Seerhein (mit Einzeluntersuchungen an weiteren Bodensee-Zuflüssen). - Fortschr.Wasserchemie 2: 33 - 99.
- WAGNER, G. (1976a): Simulationsmodelle der Seeneutrophierung, dargestellt am Beispiel des Bodensee-Obersees. - Teil II: Simulation des Phosphorhaushaltes des Bodensee-Obersees. - Arch. Hydrobiol. 78: 1 - 41.
- WAGNER, G. (1976b): Die Untersuchung von Sinkstoffen aus Bodenseezuflüssen. - Schweiz.Z.Hydrol. 38:191 - 205.
- WAGNER, G. (1980): Phosphorus Balance and Predictions: Lake Constance, Obersee. - Proc.Int.EPA/OECD Symposium on Inland Waters and Lake Restauration 1980: 316 - 319.
- WAGNER, G., STIELER, B. (1978): Temperaturgänge in Bodenseezuflüssen.- Schr. VG Bodensee 96: 241 - 244.
- WAGNER, G., WAGNER, B. (1978): Zur Einschichtung von Flußwasser in den Bodensee-Obersee. - Schweiz.Z.Hydrol. 40: 231 - 248.
- WAGNER, G., WOHLAND, H. (1976): Simulationsmodelle von der Seeneutrophierung, dargestellt am Beispiel des Bodensee-Obersees - Teil I: Die in Simulationsmodellen verwendeten Daten vom Bodensee-Obersee. - Arch.Hydrobiol. 77: 431 - 457.

Anschrift des Verfassers: Dr. Gustav WAGNER, Institut für Seenforschung und Fischereiwesen, D-7994 L a n g e n a r g e n / Bodensee, BRD.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: [1984](#)

Autor(en)/Author(s): Wagner Gustav

Artikel/Article: [Anwendung von limnologischen Funktionen und Modellen bei Untersuchungen am Bodensee und Erfahrungen mit der EDV 245-253](#)